

ベクトル量子化コードブック空間情報処理による人物顔認識の研究

著者	陳 ？
号	3172
発行年	2003
URL	http://hdl.handle.net/10097/8444

氏 名	ちん きゅう 陳 虬 (CHEN QIU)
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	ベクトル量子化コードブック空間情報処理による 人物顔認識の研究
指 導 教 官	東北大学教授 高橋 研
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 高橋 研 東北大学教授 川又 政征 東北大学教授 須川 成利 客員教授 大見 忠弘 東北大学助教授 小谷 光司 (未来科学技術共同研究センター)

論文内容要旨

高度情報社会の進展に伴い、個人識別の重要性はますます高まって来ている。銀行やマンション等での個人認証だけではなく、TV 会議システムなどへの応用、ビデオライブラリからの顔をキーとした検索への応用の可能性も現実になりつつである。顔認識研究はこれまで 20 数年にわたって、多くの手法が提案されてきた。従来の顔認識手法はいずれ認識率が低い、位置ずれの影響が大きい、膨大な計算量で、実時間実現が難しいといったデメリットがあるので、ここで、我々はこれまでの処理手法と全く異なる新しい概念の「ベクトル量子化コードブック空間情報処理」による顔画像認識技術を提案した。簡単な処理で、高い認識率を得ることが出来る。また、従来技術と異なる特徴量を用いているため、従来技術と組み合わせて認識率をさらに高めることが可能である。さらに、この認識手法は顔検出にも適用できる。本論文は、これらの研究成果をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

概要としては、図 1 に示すように、まず、入力画像を小規模のブロック(例えば 4 X 4 ピクセルのブロック)に分割する。ひとつのブロックは 16 次元のベクトルとなる。それぞれのブロックに対して、あらかじめ用意したコードブック(典型的なパターンあるいはベクトルの集合)と比較して、最も似たコード(パターン)を探し出す。このようにして、原画像から得られたパターンはコードブック中にテンプレートが存在する番号(コード番号)で表現することができた。この処理により、入力情報を圧縮して顔画像の特徴情報を抽出することが可能になる。ベクトル量子化を顔画像全体に対して実施したあと、コード番号別に使用頻度を集計し、顔画像に対するコード番号の頻度分布(ヒストグラム)が

生成される。我々はこのコードベクトルヒストグラムで表されている空間をコードブック空間と定義する。このコードベクトルヒストグラムが、個人の顔の特徴を表した特徴量、すなわちコードブ

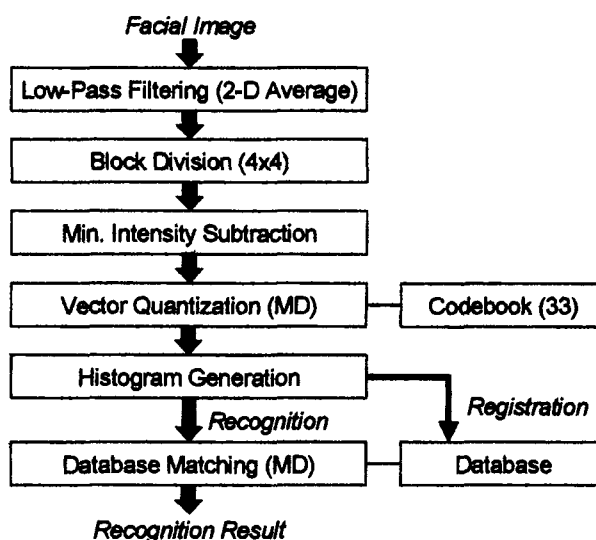


Fig 1. Face recognition process steps.

ック空間情報である。登録時に得られたヒストグラム情報を個人情報としてデータベースに保存する。認識する時、入力画像から得られた用ヒストグラム情報をあらかじめ用意したデータベースの登録情報と比較し、最も似たヒストグラムに対応する人物を見つけ出すことによって顔画像認識が行われる。人物によってヒストグラムの形状が異なることにより個人が認識できるのである。

ベクトル量子化を用いた顔認識処理のメリットとしては

- ① パターンの変動(平行移動)に不変な特徴である
- ② 従来の処理手法と異なる特徴量を用いた認識アルゴリズムである。
- ③ 簡単な計算式、少ない計算量によって顔認識処理は高速で、実時間で実現できる。そして、ハード化にしやすいという利点がある。
- ④ 高い認識率であり、従来の顔認識手法と組み合わせて認識能力の向上可能である。

第1章は序論である。

第2章においては、本研究室において実現しているベクトル量子化コードブック空間情報処理を用いた人物顔認識アルゴリズムについて述べた。本認識手法は顔画像情報がベクトル量子化により、低次元に圧縮され、コードベクトル使用頻度分布を特徴量とした顔認識手法である。まず人間の初期視覚と顔認識原理の関係について説明し、これを指針としたコードブックの作成方法を紹介した。顔画像の特徴量がコードブックベクトル空間で最適に表せるため、最適なコードブックが不可欠になる。人の顔画像は各ピクセルの輝度値が全体的に滑らかに

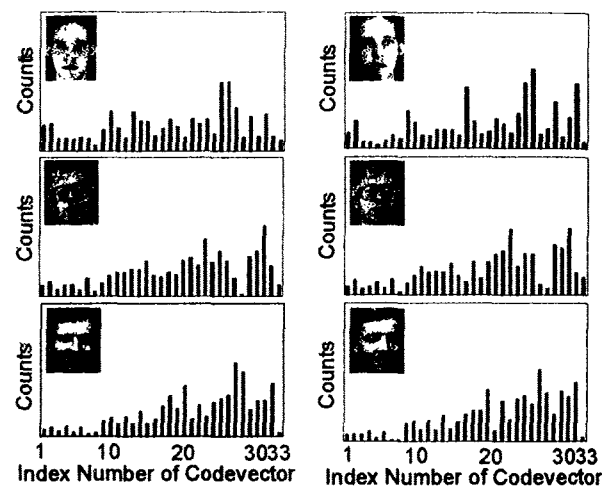


Fig 2. Typical examples of histograms.

変化するパターンが大半を占めており、その変化は単調で、変化量は非常に小さいものである。低周波パターンとも呼ばれる。輝度変化は単調変化で、8方向、4ステップの組み合わせで、さらに輝度変化のないベタパターンを加え、全部33個のパターンからなる数学的構造を持ったコードブックである。このようなコードブックを用い、ベクトル量子化を施し、頻度分布が生成される。図2を示すように、人物によってヒストグラムの形状が異なることにより個人が認識できるのを明らかにした。このように、数学的な構造があるコードブックを用いることにより、コードブックヒストグラム情報に基づく認識処理といった新しい情報処理が可能となった。ベクトル量子化ヒストグラム法は顔画像の位置情報を利用していないため、抽出された特徴量が位置ずれに非常に強いことを明らかにした。

第3章においては、ベクトル量子化コードブック空間情報処理による顔認識実験の結果と顔認識手法の検討に関して論じていた。まず小規模な公開のAT&Tデータベースを用い、認識実験により適切なLow-passフィルタを用いることで認識率が向上することを明らかにした。Low-passフィルタは移動平均フィルタを用い、顔認識に不要なノイズ成分を除外すると共に、顔認識に重要な特徴周波数成分を抽出するためにも有効に働くことを明らかにした。このようなLow-Passフィルタを適用すると、表情の変化と経年変化による変わりやすい顔面のしわ、髪の毛の変化など細い

特徴がなくなり、重要な個人特徴すなわちおおまかな顔パーツの形状が抽出された。従って、顔画像認識は、顔面上の表面プロファイルの違いによるのではなく、目や口など顔パーツの大きさや顔パーツの形などを検出しているものと考えられる。いろいろな撮影条件を含む 40 人分の 400 枚の顔写真に対して、図 3 に示すように、Rotation 法で、95.6%の平均認識率を実現した。単一フィルタは顔画像の一部特徴周波数成分を抽出していると考えれば、複数フィルタの組合せで、単一フィルタより多くの有効特徴成分を抽出できると考えられる。図 4 に示すように、複数フィルタの組み合わせにより、97.5%の平均認識率を実現した。そして、顔画像認識システム処理時間 400 枚写真のデータベースに対して、一枚の顔画像認識処理時間はわずか 0.2 秒で済む。具体的に、Low-Pass フィルタ処理は 15msec で、ベクトル量子化は約 164msec で、認識処理ときデータベースとのマッチング演算処理は 15msec である。これは実用上極めて有益な成果である。

実用上の顔認識システム、特に将来 Web 上でのオンライン認証アプリケーションなど対応するため、圧縮顔画像に対する評価を行った。

JPEG 圧縮の方法で画像圧縮率が 1/8 までは、認識率が元の非圧縮画像の顔認識率とほとんど変わらない。1/15 の圧縮率をかけても、最大平均認識率が 1%も低下しない。1/38 の圧縮率に対しても、画質がかなり劣化したものの、90%の認識率を保っていることが分かった。我々のベクトル量子化顔認識手法は圧縮画像に対して非常に頑健であることが分かった。

そして、顔認識手法の信頼性を評価するため、現在最も標準的な FERET データベースで評価した。従来の顔中心部分を抽出する代わりに、顔中心部分を額・目・鼻・口・顎といった 5 つのパーツに分割し、そこから、パーツ毎にベクトル量子化を施し、各々の頻度分布を生成し、登録する。認識するとき、入力画像も同じ処理を行ってから、登録画像各パーツの頻度分布と距離を計算し、得られた各々の距離を重み付けて、組み合わせることにより、総合距離が計算される。最小総合距

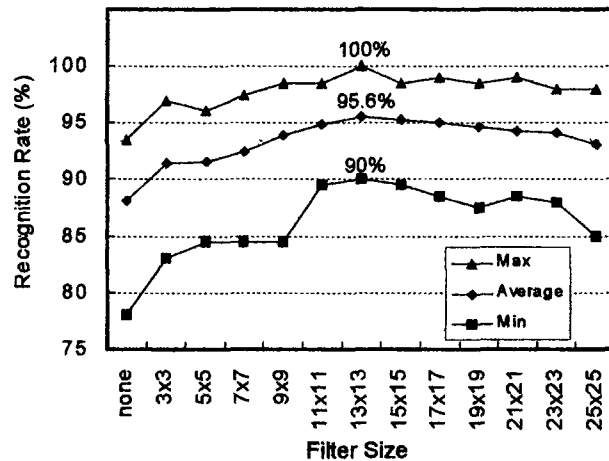


Fig 3. Recognition rate as a function of filter size.

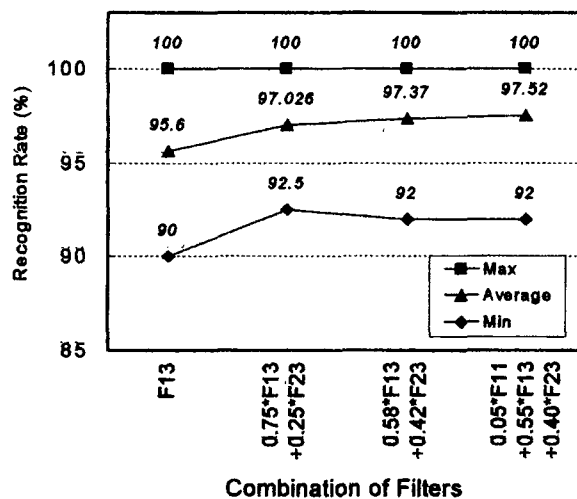


Fig 4. Recognition rate obtained using multiple filters.

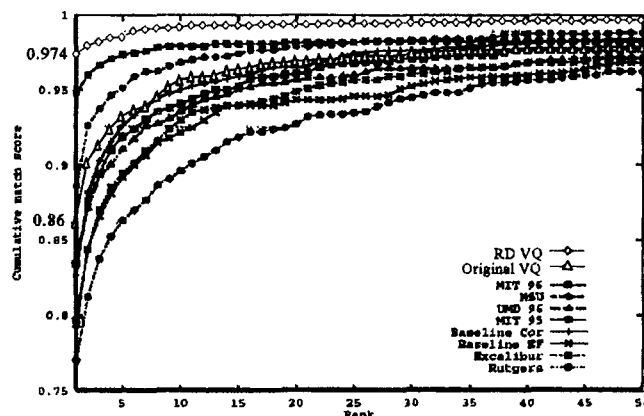


Fig 5. Recognition results of FB task.

離に対応した画像を認識結果として出力する。こういうふうに、マッチングされたコードベクトルが顔のどのパーツ部分に属するかが明確になり、位置情報と特徴量を一緒に取り込むことができた。パーツ分割処理をオリジナルの認識手法に加えることにより、位置情報とヒストグラム情報を一緒に取り込み、総合判断することで認識率が向上することを明らかにした。図5の表情、姿勢の変化を含むタスクにおいて、Top1 認識率 97.4%を得た。

その結果に基づき、制限された環境での実用的なシステムの評価を行った。一定の照明、正面顔といった限定された環境で、正規化と領域分割法で一週間以内の時間経過、メガネのあり/なし、大きいサイズ変化など各タスクにおいて、100%認識を実現した。実際の顔認識システム運用上、一週間以内にデータベース更新することにより、100%の認識率が保つことができる。これは実用上極めて有益な成果である。

引き続き第4章においては、顔認識手法を顔検出への適用に関して論じていた。実環境での頑健な、リアルタイムの顔画像認識と顔表情認識システムを実現するために、最も重要なポイントの一つは顔抽出処理を自動化しなければならないことである。現在の研究発展には顔検出手法いろいろあるが、頑健かつ効率な顔検出手法が少ない。われわれは高精度を持つ

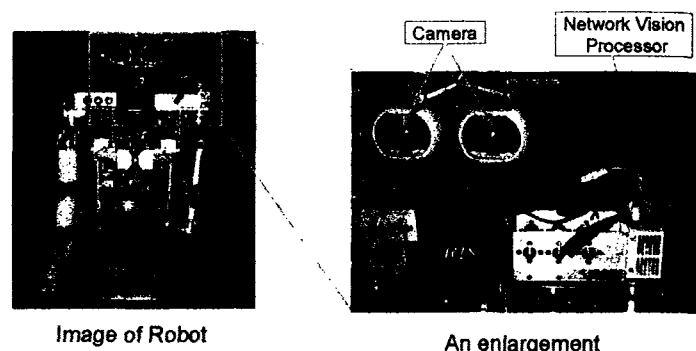


Fig 6. Face detection system in care robot system (IRIS).

顔認識用の VQ ヒストグラム法を顔検出に適用し、複数の手法を統合して、実環境での頑健な顔検出手法を実現できた。処理は三段階に分け、まず、色と形状情報を利用し、大まかな顔位置候補を検出し、この処理により、検索範囲が大幅に縮小される。そして、顔位置候補部分だけテンプレートマッチングを施し、正確に顔中心部分を検出する。これで、検索範囲がさらに減少される。ベクトル量子化コードブック空間情報処理による顔認識手法は前述したように、顔認識精度が非常に高いので、これを顔検出への適用することにした。顔中心部分を検出したあと、顔候補に対してベクトル量子化を施し、抽出された部分がほんとに顔かどうか判別する。これで、顔位置、大きさなど全部わかるようになる。その結果、色形状情報、テンプレートマッチング、VQ ヒストグラム法を統合した実環境で頑健な顔検出技術を確立した。実環境でのロバスト性は図6に示している介護ロボットへの搭載により実証された。公開の Champion Database を使い、90.3%の検出率を実現した。そして、150x220 の画像に対して、全処理時間は 0.3 秒ですむ。

以上この研究を通じて得られた結果は、現状の顔認識手法に優れた認識率を持った。近い将来実用的な顔認識システム構築に向けて役たつものであると考えられる。

論文審査結果の要旨

高度情報化社会の進展に伴い、個人識別の重要性はますます高まって来ている。銀行やマンション等での個人認証だけではなく、TV 会議システムなどへの応用、ビデオライブラリからの顔をキーとした検索への応用の可能性も現実になりつつある。顔認識研究では、これまで 20 数年にわたって多くの手法が提案されてきた。従来の顔認識手法はいずれも、認識率が低い、位置ずれの影響が大きい、膨大な計算量で実時間処理が難しいといった欠点を有している。著者は、これまでの処理手法と全く異なる新しい概念の「ベクトル量子化コードブック空間情報処理」による顔画像認識技術を提案した。この認識手法は、実時間処理で高い認識率を得ることができる。さらに、この認識手法は顔検出にも適用できる。本論文は、これらの研究成果をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、ベクトル量子化コードブック空間情報処理を用いた人物顔認識アルゴリズムについて述べている。本認識手法は、顔画像のベクトル量子化処理により生成するコードベクトル使用頻度分布（ヒストグラム）を特徴量とする顔認識手法である。

第 3 章では、顔認識結果と顔認識手法の検討に関して論じている。まず比較的小規模な AT&T 顔画像データベースを用いた認識実験により、前処理として適切な Low-pass フィルタを用いることで認識率が向上することを明らかにした。Low-pass フィルタ処理は、顔認識に不要なノイズ成分を除去すると共に、顔認識に重要な周波数成分を抽出するために有効であることを明らかにした。さらに、複数フィルタの組合せで、単一フィルタより多くの有効な特徴成分が抽出できること明らかにした。一枚の顔画像認識処理時間はわずか 0.2 秒である。さらに本顔認識手法の信頼性を評価するため、現在最も標準的な FERET データベースを用いて評価した。顔パーツ分割処理を加え、位置情報とヒストグラム情報を同時に取り込んで総合判断することで認識率が向上することを明らかにした。表情、姿勢の変化を含むタスクにおいて、認識率 97.4%を得た。その結果に基づき、ある程度制限された環境での実用的なシステムの評価を行い、一定の照明、正面顔といった限定された環境において、一週間以内の時間経過、メガネのあり/なし、顔サイズ変化などの各タスクにおいて、100%の認識率を実現した。これは実用上極めて有益な成果である。

第 4 章では、顔認識手法の顔検出への適用に関して論じている。顔検出精度を高めるため、ベクトル量子化ヒストグラム法を顔検出に適用する手法を提案した。提案した手法は、色と形状情報による大まかな顔位置候補抽出、テンプレートマッチングによる顔中心部分の検出と顔位置候補の更なる限定、ベクトル量子化顔認識手法による顔候補の最終判定の三段階で構成される。実環境でのロバスト性および実時間応答性を、介護ロボットへの搭載により実証するとともに、Champion データベースにおいて、90.3%の検出率を実現した。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、ベクトル量子化コードブック空間情報処理を用い、現状の顔認識手法に比べて高速で高い認識率を持つ顔認識手法を確立したものであり、画像電子工学および情報処理工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。